Zur Frage der Breitung bei einigen Nichteisen-Metallen

Von der

TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU BRESLAU

zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

DISSERTATION

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Fritz Anke

aus Cossebaude bei Dresden

Referent:

Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Tafel

Korreferent:

a. o. Prof. Dr. phil. Sauerwald

Tag der mündlichen Prüfung: 31. Januar 1927

Erscheint auch in
„Zeitschrift für Metallkunde“, 9. Jahrgang, Juni 1927
Heft 6

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Zur Frage der Breitung bei einigen Nichteisen-Metallen

Messungen von Temperatur und Abbrand am Walzwerk. Leistungsgrad einer Drahtstraße für Kupfer und Aluminium. Faustformel für die Breitung vom quadratischen zum rechteckigen Querschnitt. Größter Greifwinkel. Breitung keine lineare Funktion des Druckes. Einfluß von Walzgeschwindigkeit, Walzendurchmesser, Anfangsbreite und Walztemperatur auf die Breitung. Breitungsformel von Siebel ergibt die beste Übereinstimmung mit den Versuchen.

Im Gegensatz zu den zahlreichen Veröffentlichungen über das Eisenwalzen fehlen im Schrifttum Angaben über Breitung, größten Greifwinkel, Kraftbedarf und Leistung von Walzenstraßen beim Walzen von Nichteisen-Metallen vollständig. Angaben über die zweckmäßigen Walztemperaturen sind zwar vorhanden, gehen aber zum Teil weit auseinander. In der nachstehenden Arbeit ist zunächst die Frage der Breitung in Angriff genommen worden. Zu Vorstudien und Vorversuchen in der Praxis haben C. G. Tietzens Eidam, Kupfer- und Aluminium-Walz- und Hammerwerke, Bautzen i. Sa., ihre Anlagen in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt. Die Versuche brachten folgende allgemeine Ergebnisse:

Die Ziehtemperatur für Kupfer am Stoßofen der Drahtstraße ergab sich bei einer Reihe von optischen Messungen im Mittel zu 750° C. (Oberhoffer[1]) gibt als obere Grenze der Walztemperatur für Kupfer 800° C an. Die untere Grenze sinkt nach Oberhoffer mit dem Verarbeitungsgrad des zu verwalzenden Gutes und kann 600° C unterschreiten.) Die Walztemperatur von Aluminium lag unter den für optische Messungen in Betracht kommenden Temperaturbereichen. Sie wurde an einem Salpeterbadofen der Blechstraße als Temperatur des Bades mit einem Eisen-Konstantanelement zu ~ 450° C ermittelt. (Die im Schrifttum vorhandenen Angaben für Aluminium[2]) schwanken zwischen 200 und 450° C. Nach den Warmzerreißdiagrammen von Bengough[3]) müßte die günstigste Walztemperatur für Aluminium bei 400° C, für Kupfer bei 775° C liegen.)

Der Abbrand von Kupfer an der Drahtstraße ergab sich zu 0,5% vom Einsatz. Da er von der Vorwärmtemperatur, dem Verhältnis der Oberfläche zum Gewicht, von der Beschaffenheit der Oberfläche und von der Flammenführung, Ofenatmosphäre, Durchwärmzeit und chemischen Zusammensetzung des Werkstoffes abhängt, ist der ermittelte Wert nicht ohne weiteres auf andere Verhältnisse übertragbar, doch dürfte seine Größenordnung durch die Untersuchung festgelegt sein.

Die Leistung der Drahtstraße, die aus 2 Vorwalzen und 9 Wechselduos besteht, wurde nach dem von W. Tafel und E. Schneider vorgeschlagenen Verfahren bestimmt[4]). Als theoretische Leistung wird hiernach die Erzeugung des Fertiggerüstes je Schicht bezeichnet, wenn gänzlich ohne Pausen zwischen den Stichen, wie mit einem endlosen Band, gewalzt würde. Das Verhältnis von tatsächlich erreichter zur theoretischen Leistung wird als Leistungsgrad bezeichnet. Die Leistungsgrade der Straße betrugen für Kupfer 49,5%, für Aluminium rd. 46%, entsprechen also denen gut arbeitender Eisenstraßen.

Für die Bestimmung der Abmessungen beim Walzen von Kupfer- und Aluminium-Bändern ist auf dem betreffenden Werk eine Faustformel in Gebrauch, die von der Breite b und der Höhe h des zu walzenden Bandes ausgeht. Sie lautet für Kupfer:

$$a \text{ (Seite des quadratischen Ausgangsknüppels)} = \tfrac{1}{2} \text{ bis } \tfrac{2}{3} (b + h) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Der Faktor $\tfrac{2}{3}$ gilt für Breiten über 100 mm, $\tfrac{1}{2}$ für Breiten unter 100 mm. Die Breitung von Aluminium wird auf gleiche Weise mit einem Zuschlag von 10% ermittelt. Die Formel macht natürlich keinen Anspruch auf allgemeine Gültigkeit. Sie bietet aber im Rahmen des in Frage kommenden Arbeitsplanes ein Hilfsmittel zur Einschränkung des kostspieligen Probierens. Bei Breitungsversuchen mit Aluminium-Brammen (Höhe × Breite = 120 × 220 mm) an einer 600er Blechtriostraße wurde festgestellt, daß die Breitung an den mit den Walzen in Berührung stehenden Oberflächen anders verlief als in halber Blockhöhe. Doch streuten die Ergebnisse zu sehr, als daß sich sichere Schlüsse daraus hätten ziehen lassen. Der größte Greifwinkel betrug bei einem

[1]) Metall u. Erz Bd. 19 (1918), S. 47.

[2]) Z. f. Metallk. Bd. 13 (1921), S. 357 u. 205, sowie Borchers, Aluminium. Halle 1921. Wilhelm Knapp.

[3]) Engg. Bd. 93 (1912), S. 166.

[4]) Stahl u. Eisen Bd. 43 (1923), S. 370 u. f.

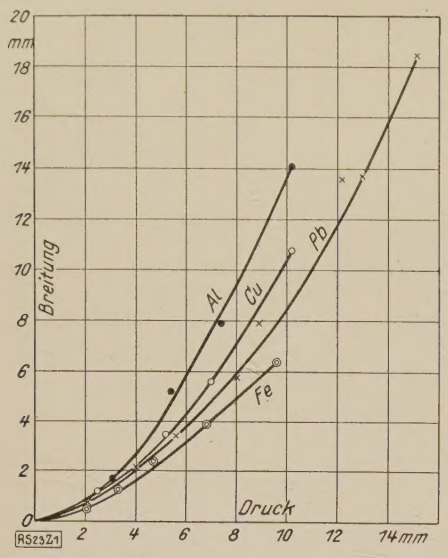

Abb. 1. Zusammenstellung der mittleren Breitung von Al 20 × 20, Cu 20 × 20, Pb 20 × 20 und Fe 19,5 × 19,5 mm² in Abhängigkeit vom Druck. Über den Druck vergl. W. Tafel: Walzen und Walzen-Kalibrieren S. 4/5

Druck von 45 mm 22° 40′, war also ungefähr ebenso groß wie beim Eisen. Zu berücksichtigen ist hierbei, daß die Mittelwalze Schleppwalze war. Es ist wahrscheinlich, daß sich bei Gerüsten mit einzeln angetriebenen Walzen etwas höhere Werte ergeben.

Weitere Versuche waren auf dem Werk aus technischen Gründen nicht tunlich. Es fehlten aber noch Bestätigungsversuche über den Einfluß des Walzdruckes und die Feststellung der Wirkung von Walzendurchmesser, Walzgeschwindigkeit, Querschnittform, Walztemperatur und Schmierung der Walzen auf die Breitung. Die Untersuchungen darüber wurden im Versuchswalzwerk der Technischen Hochschule Breslau vorgenommen. Sie erschienen um so notwendiger, als im Schrifttum über den Einfluß der genannten Faktoren auch beim Eisenwalzen nur mangelhafte Angaben vorhanden sind.

Das Versuchsmaterial wurde von C. G. Tietzens Eidam, den Vereinigten Aluminiumwerken A.-G., Lautawerk, und Schaefer & Schael, Breslau, zur Verfügung gestellt, wofür an dieser Stelle besonders gedankt sei.

Es bestand hauptsächlich aus gewalztem und auf genaues Maß gezogenem Handelsaluminium (Durchschnittsanalyse: 0,28% Si, 0,45% Fe, 99,27% Al) und Elektrolytkupfer (Reinheitsgrad 99,93%) von den Abmessungen 7 × 7, 10 × 10, 13 × 13, 20 × 20, 13 × 20 und 13 × 26 mm. Bei Kontrollversuchen wurde auch vorgewalztes Aluminium, Kupfer, Blei und Eisen handelsüblicher Qualität verwendet.

An Versuchsgerüsten waren ein Duogerüst von 104 mm Walzen-Dmr. mit einer Walzgeschwindigkeit von 0,229 m/sek und ein Triogerüst von 440 mm Walzen-Dmr. mit einer Walzgeschwindigkeit von 1,98 bis 4,95 m/sek vorhanden. Die Walzen des kleinen Gerüstes bestanden aus Stahlguß, ihre Oberfläche war durch Feilenstriche parallel zur Walzenachse leicht gerauht. Das Material der großen Walzen war Hartguß. Beschreibung der übrigen Anlage vergl. Stahl u. Eisen Bd. 46 (1926) S. 986/87.

Als Walztemperatur wurden für Aluminium 450° C, für Kupfer 750° C gewählt. Um die bei Körpern von geringem Querschnitt stark ins Gewicht fallende Abkühlung bei der Beförderung vom Ofen zur Walze möglichst zu verringern, erhitzte man die Proben in beiderseits offenen Chamotteröhrchen und brachte sie in diesen an die Walze heran. Eine auf dem Walztisch angeordnete Führung mit Anschlag sorgte für den Eintritt in die Walzen genau senkrecht zur Walzebene und verhinderte gleichzeitig, daß die Röhren mit der Walze in Berührung kamen. Die Durchwärmzeit der Proben wurde durch besondere Versuche festgestellt. Die Abkühlung bei der Beförderung zur Walze betrug nur 2 bis 6° C, konnte also praktisch gleich Null gesetzt werden.

Zur Feststellung des Abbrandes wurden 4 Kupferproben 13 × 13 × 70 mm ½ st lang bei 800° C geglüht, Nr. 1 und 2 in Wasser abgeschreckt und Nr. 3 und 4 an der Luft abgekühlt. Die Gewichtsverluste der Proben waren bei Nr. 1 0,78%, bei Nr. 2 0,68%, bei Nr. 3 0,77% und bei Nr. 4 0,77%. Die Verringerung der Höhen- und Breitenabmessungen betrug nur 0,03 bis 0,045 mm. Der Abbrand wurde daher bei Auswertung der weitern Versuche vernachlässigt. Desgleichen mußte die während der Verformung des Materials auftretende Temperaturerhöhung unberücksichtigt bleiben.

Durch besondere Versuche wurde festgestellt, daß bei einer Probenlänge von 70 mm für das kleine und von 200 mm für das große Gerüst ein meßbarer Einfluß der Enden, in deren Nähe die Materialverdrängung anders vor sich geht, auf den mittleren Teil der Körper auch bei starken Drücken nicht mehr vorhanden war, sofern der Anstich so erfolgte, daß beide Walzen gleichzeitig faßten.

Bei den folgenden Hauptversuchen wurde regelmäßig bestimmt:

1. die Breitung in der halben Blockhöhe B_M. Sie wurde mit dem Mikrometer oder der Schublehre gemessen,

2. die mittlere Breitung B_m. Sie errechnet sich wie folgt:

Bedeuten $h_1 \cdot b_1$ Querschnitt, G_1 Gewicht, l Länge der Probe vor dem Walzen, s spez. Gewicht, $h_2 \cdot b_2$ Querschnitt und G_2 das Gewicht der Probe nach dem Walzen, das sich ergibt, wenn sie durch Kürzen von Kopf und Ende auf die Anfangslänge l zurückgeschnitten ist, so gilt:

$$G_1 = h_1 \cdot b_1 \cdot l \cdot s \quad \ldots\ldots\ldots (2$$

$$G_2 = h_2 \cdot b_2 \cdot l \cdot s \quad \ldots\ldots\ldots (3$$

$$\frac{G_2}{G_1} = \frac{h_2 \cdot b_2}{h_1 \cdot b_1} \quad \ldots\ldots\ldots (4$$

$$b_2 = \frac{G_2 \cdot h_1 \cdot b_1}{h_2 \cdot G_1} \quad \ldots\ldots\ldots (5$$

$$b_2 - b_1 = Bm \quad \ldots\ldots\ldots (6$$

Eine etwaige Änderung des spez. Gewichtes beim Walzen ist hierbei nicht berücksichtigt. Da es sich bei dem Ausgangsmaterial ebenfalls um Walzerzeugnisse handelte, konnte sie nur unbedeutend sein.

Die Breitung an den Oberflächen B_0 ließ sich nur bei einem Teil der Versuche feststellen, weil das Material teilweise an den Ecken kleine Abrundungen besaß, die sich bei geringen Drücken nach dem Walzen noch soweit bemerkbar machten, daß unter dem Mikroskop keine klar abgegrenzte Oberfläche erkennbar war. Soweit meßbar, wurde sie als Mittelwert von Ober- und Unterfläche bestimmt.

Einfluß des Walzdruckes

Es wurde Kupfer, Aluminium und Blei 13 × 13 bei dem Walzen-Dmr. 104 mm und Kupfer, Aluminium, Blei 20 × 20 und Eisen 19,5 × 19,5 bei

dem Walzen-Dmr. 440 mm in Abhängigkeit vom Walzdruck bei sonst konstant gehaltenen Bedingungen gewalzt[5]), vergl. Zahlentafel 1, 2, 3 und 4. Es ergab sich, daß B_0, B_M und B_m rascher ansteigen als der Druck, also mit einer Potenz des Druckes wachsen. Die bei der Aufstellung von Breitungsformeln häufig angenommene lineare Abhängigkeit der Breitung vom Druck ist damit als nicht zutreffend erwiesen.

Zahlentafel 1. Breitung Cu 13 × 13 mm² in Abhängigkeit vom Druck (D). Walztemperatur 750°, Walzen-Dmr. 104 mm, Walzgeschwindigkeit 0,229 m/sek.

D mm	D %	B_M mm	B_M in % von D	B_0 mm	B_0 in % von D	B_m mm	B_m in % von D
0,57	4,4	0,11	19,3	—	—	0,03	5,3
1,00	7,7	0,25	25,0	—	—	0,15	17,0
1,84	14,1	0,64	34,8	—	—	0,51	27,7
2,08	16,0	0,87	41,8	0,02	0,15	0,59	28,4
3,06	23,4	1,46	47,8	0,39	12,7	1,03	33,7
3,45	26,3	1,85	53,7	0,33	9,6	1,27	36,8
4,20	32,3	2,5	59,6	0,86	20,4	1,82	43,3
4,85	37,3	3,15	65,0	1,25	25,8	2,49	51,3
5,27	40,5	3,58	68	1,32	25,1	2,84	53,9

Zahlentafel 2. Breitung Al 13 × 13 mm² in Abhängigkeit vom Druck (D). Walztemperatur 450° C, Walzen-Dmr. 104 mm, Walzgeschwindigkeit 0,229 m/sek.

D mm	D %	B_M mm	B_M in % von D	B_0 mm	B_0 in % von D	B_m mm	B_m in % von D
1,14	8,8	0,37	32,4	—	—	0,32	28,1
1,94	15	0,83	42,8	—	—	0,67	34,5
2,94	22,6	1,96	66,7	0,20	6,8	1,37	46,7
4,02	31	2,83	70,5	0,32	8,0	2,05	51,1
4,77	36,8	3,68	77,3	0,94	19,7	2,84	59,7

Zahlentafel 3. Breitung Pb 13 × 13 mm² in Abhängigkeit vom Druck (D). Walztemperatur: Raumtemperatur, Walzen-Dmr. 104 mm, Walzgeschwindigkeit 0,229 m/sek.

D mm	D %	B_M mm	B_M in % von D	B_0 mm	B_0 in % von D	B_m mm	B_m in % von D
1,11	8,66	0,25	22,5	0,14	12,6	0,15	13,5
1,96	15,3	0,60	30,6	0,37	18,9	0,48	24,5
4,22	33	1,97	46,8	1,08	25,6	1,66	39,4
5,08	39,7	2,31	45,5	1,58	31,1	2,00	39,4
5,84	45,7	2,99	51,2	1,96	33,6	2,57	44,0

Zahlentafel 4. Breitung von Fe 19,5 × 19,5, Cu 20 × 20, Al 20 × 20, Pb 20 × 20 mm² in Abhängigkeit vom Druck (D).

Walztemperatur Fe 1150°
„ Cu 750°
„ Al 450°
„ Pb Raumtemperatur,
Walzen-Dmr. 440 mm, Walzgeschwindigkeit 1,98 m/sek.

Material	D mm	D %	B_M mm	B_M in % von D	B_0 mm	B_0 in % von D	B_m mm	B_m in % von D
Fe	2,04	10,5	0,86	42,1	—	—	0,45	22,05
Fe	4,67	24,0	2,93	62,7	1,4	30	2,4	51,4
Fe	6,8	34,9	4,7	69,2	3,1	45,6	3,9	57,4
Fe	9,59	49,2	7,71	80,4	5,7	59,4	6,4	66,8
Cu	2,5	12,5	1,3	52,1	—	—	1,2	48,1
Cu	5,2	26	3,8	73,2	1,7	32,7	3,5	67,3
Cu	7	35	6	85,8	3,6	51,5	5,6	80,1
Cu	10,2	50,1	11,2	109,8	8,3	81,4	10,8	106
Al	3,1	15,05	2,2	71	0,3	9,7	1,7	54,9
Al	5,4	27	5,9	109,2	2,45	45,4	5,2	96,4
Al	7,4	37	8,5	114,8	4,7	63,5	7,8	106,8
Al	10,2	50,1	14,5	142,1	11,2	109,8	14,1	138,2
Pb	2,1	10,5	1	47,7	0,35	16,7	0,8	38,1
Pb	4	20	2,5	62,5	0,55	13,7	2,2	55
Pb	5,6	28	4	71,4	2,15	38,4	3,4	60,7
Pb	8	40	6,5	81,3	4,6	57,6	5,8	72,5
Pb	13,0	65	14,5	111,3	13	100	13,7	105,3
Pb	15,1	75,5	19	125,8	17,9	118,5	18,5	122,3

Zur Veranschaulichung der Unterschiede, die in der Breitung auftreten, wenn eine bestimmte Höhenverminderung einmal durch einen einzigen starken Druck, das andere Mal durch eine Reihenfolge schwächerer Drucke herbeigeführt wird, wurden die in Zahlentafel 5 wiedergegebenen Versuche angestellt. Proben von Aluminium 13 × 13 wurden bei einem Walzen-Dmr. von 104 mm in 1, 2 und 4 Stichen um insgesamt 4,1 mm gedrückt. Bei Walzungen mit mehreren Durchgängen wurden die Blöckchen nach jedem Stich wieder in den Ofen eingesetzt und auf genaue Temperatur gebracht, ehe sie von neuem an die Walze kamen. Die Breitung der Probe mit nur einem Durchgang fiel um 135% größer aus als die der Probe mit 4 Stichen.

Zahlentafel 5. Einfluß allmählicher Höhenabnahme auf die Gesamt-Breitung von Al 13 × 13 mm². Walztemperatur 450°, Walzen-Dmr. 104 mm, Walzgeschwindigkeit 0,229 m/sek.

Zahl der Stiche	D mm	D %	B_M mm	B_M in % von D	Gesamtdruck mm	Gesamtbreitung mm	Gesamtbreitung in % von D
1	4,14	32	2,99	72,3	4,14	2,99	72,3
2	1,86	14,3	0,78	41,9	—	—	—
	2,26	20,4	1,13	50	4,12	1,91	46,4
4	1,11	8,57	0,37	33,3	—	—	—
	0,98	8,27	0,25	25,5	—	—	—
	0,99	9,12	0,32	32,3	—	—	—
	0,97	9,82	0,33	34,1	4,05	1,27	31,4

Die Zusammenstellung der mittleren Breitungen von Eisen, Blei, Kupfer und Aluminium in Abb. 1 ergibt, daß B_m von Eisen über Blei und Kupfer nach Aluminium hin wächst. Die Unterschiede zwischen Eisen und den übrigen Metallen betragen in %:

[5]) Bei Blei 13 × 13 mm² mußte B_m wegen einer bei dem Anfangsquerschnitt vorhandenen kleinen seitlichen Ausbauchung als das arithmetische Mittel von B_0 und B_M (Breitung in der halben Blockhöhe) bestimmt werden. Allgemein zulässig ist dies Verfahren nicht, da B_m normaler-weise näher an B_M als an B_0 verläuft.

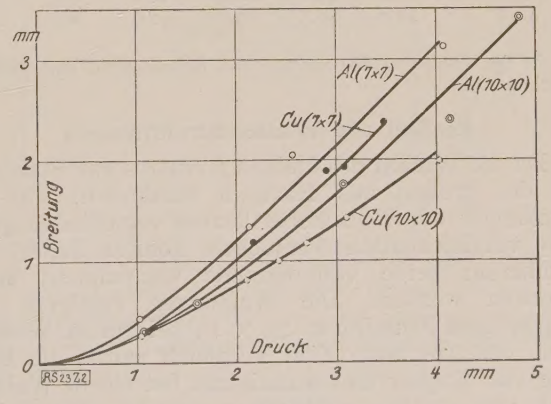

Abb. 2. Mittlere Breitung von Al 10 × 10 und 7 × 7 und Cu 10 × 10 und 7 × 7 mm² in Abhängigkeit vom Druck. Walztemperatur bei Al 450°, bei Cu 750° C, Walzen-Dmr. 104 mm, Walzgeschwindigkeit 0,229 m/sek.

bei 25% Druck für Blei: + 21%; Kupfer: + 33%; Aluminium: + 71%;
bei 50% Druck für Blei: + 25%; Kupfer: + 53%; Aluminium: + 101%.

Einfluß der Walzgeschwindigkeit

Die normale Walzgeschwindigkeit auf dem Duogerüst betrug 0,229 m/sek. Sie wurde durch Aufsetzen größerer Antriebs-Riemenscheiben auf 0,458 und 0,687 m/sek gebracht, also verdoppelt und verdreifacht, und Kupfer und Aluminium 13 × 13 bei 2, 3 und 4 mm Druck bei diesen Geschwindigkeiten gewalzt, vergl. Zahlentafel 6. Kontrollversuche mit Eisen 29 × 29 bei 1,98 und 4,95 m/sek Walzgeschwindigkeit gibt Zahlentafel 7 wieder. Die Versuche ergaben, daß die mittlere Breitung in weiten Grenzen unabhängig von der Walzgeschwindigkeit ist.

Zahlentafel 6. Breitung Cu und Al 13×13 mm² in Abhängigkeit von der Walzgeschwindigkeit. Walztemperatur Cu 750°, Al 450°, Walzen-Dmr. 104 mm.

Material	Walzgeschwindigkeit in m/sek	D mm	D %	B_M mm	B_M %	B_0 mm	B_0 %	B_m mm	B_m %
Cu	0,229	2,08	16	0,87	6,7	0,02	0,15	0,59	4,5
Cu	0,458	2,15	16,5	0,84	6,5	0,01	0,08	0,65	5,0
Cu	0,687	2,09	16,1	0,81	6,2	—	—	0,61	4,7
Cu	0,229	2,95	22,7	1,57	12,1	0,28	2,08	1,12	8,6
Cu	0,458	2,98	22,9	1,55	11,9	0,26	2,0	1,18	9,1
Cu	0,687	3,00	23,1	1,52	11,7	0,33	2,5	1,14	8,8
Cu	0,229	4,20	32,3	2,50	19,2	0,86	6,6	1,82	14,0
Cu	0,687	4,04	31,1	2,35	18,1	0,82	6,3	1,71	13,1
Al	0,229	1,94	15	0,83	6,4	—	—	0,67	5,2
Al	0,458	2,0	15,4	0,79	6,1	—	—	0,69	5,3
Al	0,687	2,12	16,4	0,83	6,4	—	—	0,68	5,2
Al	0,229	2,95	22,8	1,63	12,6	0,02	0,15	1,10	8,5
Al	0,458	3,01	23,2	1,52	11,7	0,05	0,39	1,15	8,9
Al	0,687	3,01	23,2	1,54	11,9	0,06	0,46	1,21	9,3
Al	0,229	4,02	31	2,83	21,8	0,32	2,5	2,05	15,8
Al	0,687	3,99	30,8	2,56	19,8	0,36	2,8	1,96	15,1

Zahlentafel 7. Breitung Fe 29×29 mm² in Abhängigkeit von der Walzgeschwindigkeit. Walzen-Dmr. 440 mm, Walztemperatur 1250° C.

Walzgeschwindigkeit in m/sek	D*) mm	D %	B_M*) mm	B_M %	B_m mm	B_m %
1,98	4	13,8	1,6	5,5	1,6	5,5
4,95	4	13,8	1,8	6,2	1,4	4,8
1,98	8,8	30,4	4,7	16,2	4,7	16,2
4,95	8,85	30,6	5,85	20,2	4,35	15,0
1,98	14,2	49,0	8,9	30,6	8,5	29,3
4,95	14,05	48,5	9,45	32,6	8,65	29,8

*) Die Zahlen in den Spalten sind entsprechend dem Abbrand berichtigt.

Einfluß des Walzendurchmessers

Da die Walzen des kleinen Gerüstes aus Stahlguß, die des großen aus Hartguß bestanden, war die Rauhigkeit der Walzenoberflächen verschieden groß. Den vergleichenden Versuchen konnte daher von vornherein keine vollkommene Genauigkeit zugesprochen werden. Die Walzungen erfolgten mit Kupfer und Aluminium 13 × 13 bei einem Walzen-Dmr. von 440 mm. Zum Vergleich wurde die Breitung von Kupfer und Aluminium bei einem Walzen-Dmr. von 104 mm und entsprechendem Druck herangezogen und dem gefundenen Werte in Zahlentafel 8 gegenübergestellt. Die starke Zunahme der Breitung mit dem Walzendurchmesser tritt deutlich in Erscheinung.

Zahlentafel 8. Breitung Cu und Al 13 × 13 in Abhängigkeit vom Walzen-Dmr. Walztemperatur Cu 750° C, Al 450° C, Walzgeschwindigkeit 0,229 bzw. 1,98 m/sek.

Material	Walzen-Dmr. mm	Walzgeschwindigkeit in m/sek	D mm	D %	B_M mm	B_M %	B_m mm	B_m %
Al	440	1,98	3,20	24,6	3,70	28,4	3,28	25,2
Al	104	0,229	3,20	24,6	1,90	14,6	1,42	10,9
Al	440	1,98	4,80	36,9	6,45	49,6	5,92	45,5
Al	104	0,229	4,80	36,9	3,86	29,7	2,85	21,9
Cu	440	1,98	2,60	20	2,42	18,6	2,02	15,5
Cu	104	0,229	2,60	20	1,13	8,69	0,85	6,54
Cu	440	1,98	4,71	36,2	5,30	40,8	4,7	36,2
Cu	104	0,229	4,71	36,2	2,83	21,7	2,1	16,1

Bei einer weiteren Versuchsreihe (Abb. 2) wurde der Walzendurchmesser konstant gehalten und die Anfangshöhe geändert, indem auf den 104er Walzen Quadrate 10 × 10 und 7 × 7 von Kupfer und Aluminium bei verschiedenen Drücken gewalzt wurden.

Einfluß des Anfangquerschnittes

Bei der Untersuchung des Einflusses der Anfangsbreite wurde festgestellt (Abb. 3), daß der absolute Wert der Breitung für Kupfer 13 × 13, 13 × 20 und 13 × 26 annähernd gleich groß ist, daß die Breitung also innerhalb eines gewissen Intervalles als unabhängig von der Anfangsbreite angenommen werden kann.

Eigentümlich verläuft die Breitung bei Veränderung der Anfangshöhe bei gleichbleibender Anfangsbreite (Abb. 4). Sie steigt zunächst sehr rasch mit abnehmendem h_1, scheint sich aber bei sehr dünnen Ausgangsquerschnitten einem Grenzwert zu nähern.

Einfluß der Walztemperatur

Die Ergebnisse der Walzungen mit Kupfer, Aluminium und Eisen sind in Abb. 5 und 6 dargestellt. Der bereits von Oberhoffer gezeigte eigentümliche

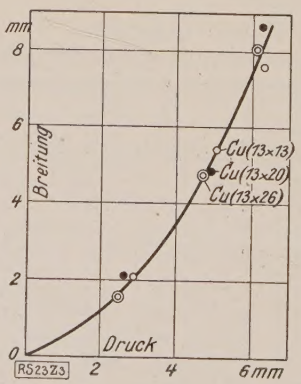

Abb. 3, Mittlere Breitung von Cu 13 × 13, 13 × 20 u. 13 × 26 mm² in Abhängigkeit vom Druck. Walztemperatur 750° C, Walzen-Dmr. 440 mm, Walzgeschwindigkeit 1,98 m/sek.

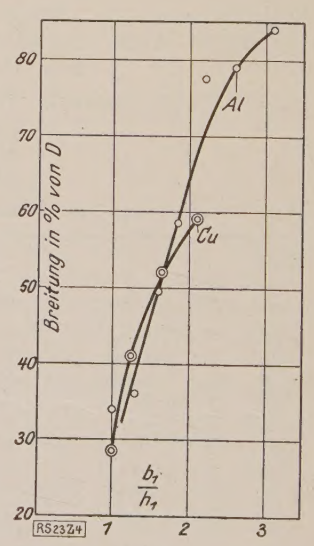

Abb. 4. Mittlere Breitung von Cu und Al bei Anfangsbreite 13 in Abhängigkeit von h_1. Walztemperatur Cu 750°, Al 450° C, Walzen-Dmr. 104 mm, Walzgeschwindigkeit 0,229 m/sek.

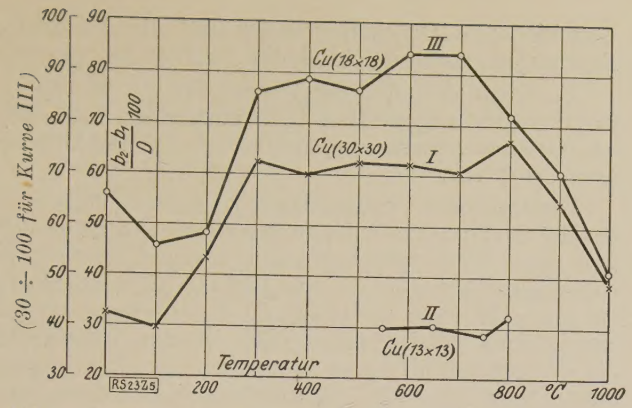

Abb. 5. Breitung von Cu in Abhängigkeit von der Temperatur.
I. Von Oberhoffer für Cu 30 × 30 gefundene Werte.
II. Mittlere Breitung von Cu 13 × 13, Druck ~ 2 mm, Walzen-Dmr. 104 mm, Walzengeschwindigkeit 0,229 m/sek.
III. Mittlere Breitung von Cu 18 × 18, Druck ~ 7,5 mm, Walzen-Dmr. 440 mm, Walzgeschwindigkeit 1,98 m/sek.
Die Ordinate 20 ÷ 90 gilt für Kurve I und II, die von 30 ÷ 100 für Kurve III.

Verlauf der Breitung von Kupfer in Abhängigkeit von der Temperatur (Kurve I in Abb. 5) wurde bestätigt. Die Breitung von Aluminium nimmt ziemlich stetig mit der Temperatur zu (Kurve I in Abb. 6), während umgekehrt die Breitung von Eisen mit wachsender Temperatur fällt (Kurve III in Abb. 6).

Einfluß der Schmierung der Walzen

Zur Untersuchung des Einflusses der Schmierung der Walzen auf die Breitung von Aluminium wurden 4 Proben 13 × 13 auf 400° C erhitzt und Nr. 1 und 2 durch gut trockene, Nr. 3 und 4 bei dem gleichen Druck durch mit Glyzerin überzogene Walzen gegeben. Das Ergebnis war:

Nr.	1	2	3	4
B_m in mm	1,04	1,03	1,08	1,05

Die Schmierung veranlaßt eine kleine Vergrößerung der Breitung.

Auswertung der Versuchergebnisse

Zunächst wurde eine Nachprüfung der für Eisen hauptsächlich bekannt gewordenen Formeln auf ihre Brauchbarkeit hin unternommen. Es wurden untersucht:

I. die Formel von Geuze[6]): $B = 0{,}35\,(h_1 - h_2)$ . . (7

II. „ „ „ Kirchberg[7]):

$$B = 2\,(h_1 - h_2)\cdot\frac{1}{100}\,\mathrm{ctg}\,\alpha \quad . . \quad (8$$

III. „ „ „ Scheld[8]):

$$B = \frac{(h_1 - h_2)\cdot U\cdot \sin\alpha}{h_2} \quad . . . \quad (9$$

IV. „ „ „ Falk[9]):

$$B = \sqrt{\frac{0{,}161\,(h_1 - h_2)\cdot b_1\cdot(h_1 + h_2)}{h_2\cdot\alpha} + b_1^2} \quad . . \quad (10$$

V. die Formel von Sedlaczek[10]):

$$B = \frac{(h_1 - h_2)}{6}\sqrt{\frac{r}{h_1}} \quad . . . . . \quad (11$$

VI. „ „ „ Siebel[11]): $B = U\left(\sqrt{\frac{h_1}{h_2}} - 1\right)$ (12

h_1 und b_1 Höhe und Breite vor, h_2 Höhe nach dem Stich, α Greifwinkel, U berührter Walzenumfang, r Walzenhalbmesser.

Die Nachrechnung wurde durchgeführt für die Querschnitte 13 × 13 und 20 × 20 bei Walzen-Dmr. von 104 mm bzw. 440 mm (vergl. Abb. 7 und 8). Die Numerierung der Kurven entspricht der der oben aufgeführten Formeln. Die tatsächlich gefundenen Kurven für Kupfer und Aluminium sind verstärkt gezeichnet.

Die Abweichungen im Verlauf der Kurven sind so groß, daß keine der Formeln Anspruch auf Richtig-

[6]) Laminage du fer et de l'acier.
[7]) Grundzüge der Walzenkalibrierung. Dortmund 1905.
[8]) Stahl u. Eisen Bd. 3 (1910), S. 415.
[9]) Stahl u. Eisen Bd. 3 (1910), S. 767 u. 1986.
[10]) Dissertation H. Sedlaczek, Techn. Hochschule Breslau 1924.
[11]) Hütte I, 25. Auflage.

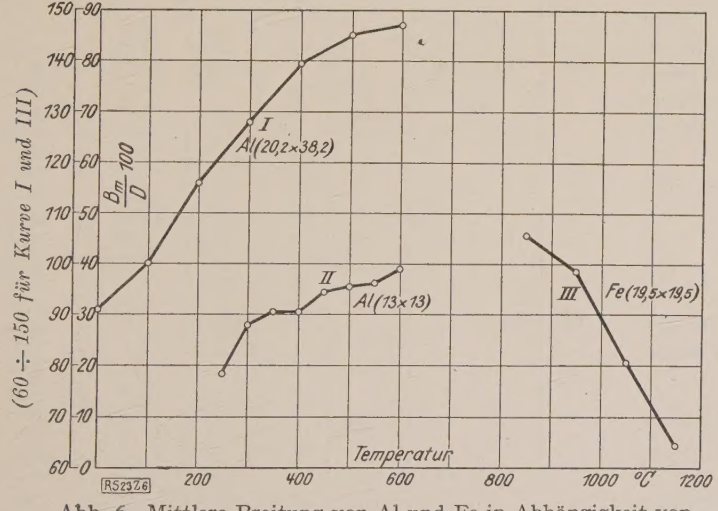

Abb. 6. Mittlere Breitung von Al und Fe in Abhängigkeit von der Temperatur.
I. Mittlere Breitung von Al 20,2 × 38,2, Druck ~ 10 mm, Walzen-Dmr. 440 mm, Walzgeschwindigkeit 1,98 m/sek.
II. Mittlere Breitung von Al 13 × 13, Druck ~ 2 mm, Walzen-Dmr. 104 mm, Walzgeschwindigkeit 0,229 m/sek.
III. Mittlere Breitung von Fe 19,5 × 19,5, Druck ~ 9 mm, Walzen-Dmr. 440 mm, Walzgeschwindigkeit 1,98 m/sek.
Die Ordinate 0 ÷ 90 gilt für Kurve II, die von 60 ÷ 150 für Kurve I und III.

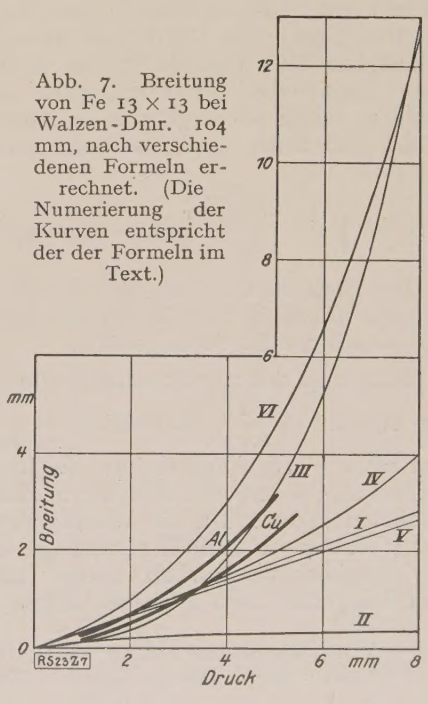

Abb. 7. Breitung von Fe 13 × 13 bei Walzen-Dmr. 104 mm, nach verschiedenen Formeln errechnet. (Die Numerierung der Kurven entspricht der der Formeln im Text.)

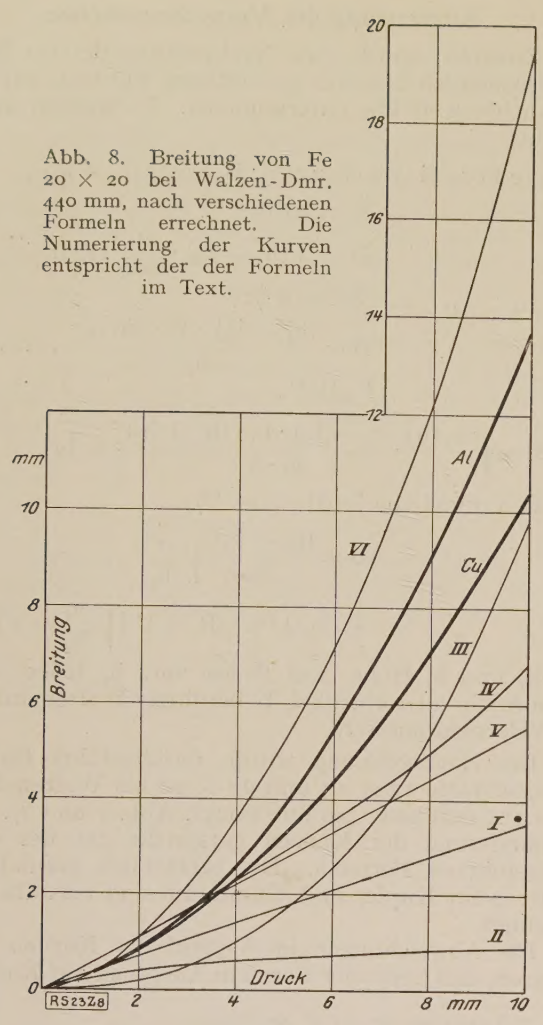

Abb. 8. Breitung von Fe 20 × 20 bei Walzen-Dmr. 440 mm, nach verschiedenen Formeln errechnet. Die Numerierung der Kurven entspricht der der Formeln im Text.

keit machen kann. Auch das Einsetzen von versuchsmäßig ermittelten Faktoren in die Formel von Siebel, die noch am besten stimmt, führte zu keinem brauchbaren Ergebnis.

Dagegen fand sich eine überraschende Übereinstimmung bei einer andern von Siebel 1922 in dem Bericht des Walzwerksausschusses über „Grundlagen zur Berechnung des Kraft- und Arbeitsbedarfes beim Schmieden und Walzen“[12]) aus dem Schmiedevorgang abgeleiteten Breitungsformel, die in dem in Stahl u. Eisen wiedergegebenen Auszug[13]) nicht genannt und daher wenig bekannt geworden ist. Sie lautet:

$$B = c \sqrt{\frac{(h_1 - h_2)^3 \cdot r}{h_1^2}} = c \cdot (h_1 - h_2)^{1,5} \sqrt{\frac{r}{h_1^2}} \quad \cdot \cdot \quad (13$$

Die Breitung ist demnach von der 1,5. Potenz des Druckes abhängig und wächst mit dem Walzen-Dmr. und abnehmender Anfangshöhe.

Setzt man den versuchsmäßig ermittelten Faktor c für Kupfer $= \frac{1}{2,77}$, Aluminium $= \frac{1}{2,22}$, Blei $= 1/3$ und Eisen $= 1/3,2$ und rechnet die Breitung nach der Formel aus, so ergeben sich die in Zahlentafel 9 aufgeführten Werte. Da die Hauptversuche mit Eisen nur 5 Walzungen enthalten, wurden, um einen besseren Vergleichmaßstab zu haben, nachträglich auf dem Triogerüst noch 4 Proben Eisen 39,8 × 39,8 bei verschiedenen Drücken gewalzt und die gefundenen Breitungswerte am Schluß der Zahlentafel angefügt.

Es ergab sich, daß die Formel für alle Metalle im Rahmen der angestellten Untersuchungen brauchbar ist. Größere Abweichungen kommen nur bei Drücken über 40% vor.

Die Faktoren c gelten zunächst nur für vorgewalztes Material innerhalb bestimmter Temperaturbereiche und zwar für Kupfer zwischen 300 und 800° C, für Aluminium bei 450° C, für Blei bei Raumtemperatur, für Eisen bei ca. 1150° C. Bei anderen als den angegebenen Walztemperaturen ist der Faktor aus der Temperaturbreitungskurve neu zu bestimmen, indem man ihn z. B. für Aluminium mit dem Quotienten:

$$\frac{\text{Breitung bei Temperatur x}}{\text{Breitung bei Temperatur 450°}}$$

multipliziert. Die Breitung für roh gegossenes und vorgewalztes Kupfer ist nach Oberhoffer zwischen 300 und 800° C annähernd gleich groß, so daß angenommen werden kann, daß der für Kupfer gefundene Faktor 1/2,77 auch für gegossenes Material

Zahlentafel 9. Vergleich tatsächlicher mit rechnerisch nach Siebel gefundener Breitung bei Kupfer, Aluminium, Blei und Eisen

I Material	II $h_1 \cdot b_1$ mm	III Walzen-Dmr. mm	IV $h_1 - h_2$ mm	V c für Formel I	VI $b_2 - b_1$ in mm durch Versuch gefunden	VII $b_2 - b_1$ in mm aus Formel 13 errechnet
Cu	13 × 13	104	1	1/2,77	0,17	0,2
,,	,,	,,	3	,,	1,02	1,04
,,	,,	,,	5	,,	2,6	2,24
,,	,,	440	3	,,	2,2	2,14
,,	,,	,,	5	,,	5,3	4,65
,,	,,	,,	6	,,	7,5	6,05
,,	20 × 20	,,	2	,,	0,8	0,76
,,	,,	,,	4	,,	2,3	2,14
,,	,,	,,	6	,,	4,4	3,94
,,	,,	,,	8	,,	7,1	6,05
,,	,,	,,	10	,,	10,5	8,47
,,	10 × 10	104	2	,,	0,78	0,74
,,	,,	,,	4	,,	2,07	2,08
,,	7 × 7	,,	1	,,	0,3	0,37
,,	,,	,,	3	,,	1,87	1,93
Al	13 × 13	,,	1	1/2,22	0,25	0,25
,,	,,	,,	3	,,	1,3	1,3
,,	,,	,,	5	,,	3,1	2,8
,,	20 × 20	440	2	,,	0,9	0,95
,,	,,	,,	4	,,	2,7	2,7
,,	,,	,,	6	,,	5,8	4,9
,,	,,	,,	8	,,	9,4	7,5
,,	,,	,,	10	,,	13,7	10,5
,,	10 × 10	104	2	,,	0,87	0,93
,,	,,	,,	4	,,	2,58	2,59
,,	7 × 7	,,	2	,,	1,2	1,31
,,	,,	,,	4	,,	3,13	3,72
Pb	20 × 20	440	2	1/3	0,7	0,7
,,	,,	,,	4	,,	2,2	1,98
,,	,,	,,	6	,,	3,9	3,64
,,	,,	,,	8	,,	5,8	5,57
,,	,,	,,	10	,,	8,7	7,81
,,	,,	,,	12	,,	11,9	10,3
,,	,,	,,	14	,,	15,9	12,9
,,	13 × 13	104	1	,,	0,13	0,18
,,	,,	,,	3	,,	0,97	0,96
,,	,,	,,	5	,,	2,0	2,07
Fe	19,5 × 19,5	440	2	1/3,2	0,6	0,67
,,	,,	,,	4	,,	1,7	1,9
,,	,,	,,	6	,,	3,2	3,5
,,	,,	,,	8	,,	5,0	5,39
,,	,,	,,	10	,,	6,7	7,53
,,	39,8 × 39,8	,,	5,3	,,	1,6	1,42
,,	,,	,,	9,55	,,	4,7	3,44
,,	,,	,,	14,55	,,	7,55	6,45
,,	,,	,,	20,55	,,	10,05	10,08

[12]) VDE, Walzwerksausschuß (1922), Ber. Nr. 28.
[13]) Stahl u. Eisen Bd. 43 (1923), S. 1295.

Geltung hat. Untersuchungen darüber konnten mangels geeigneten Versuchsmaterials nicht vorgenommen werden. Bei Aluminium können zum Vergleich in beschränktem Maße die in halber Blockhöhe gemessenen Breitungswerte für die roh gegossenen Aluminium-Barren 120 × 220 herangezogen werden. c errechnet sich für sie zu 1/3,5.

Zusammenfassung

Der Einfluß des Walzdrucks, der Walzgeschwindigkeit, des Walzendurchmessers, des Anfangsquerschnittes und der Walztemperatur auf die Breitung von Aluminium und Kupfer wurde untersucht, bei Aluminium auch der Einfluß einer Oberflächenschmierung der Walzen. Zu Kontrollversuchen wurden Blei und Eisen verwendet. Es ergab sich, daß die Walzgeschwindigkeit innerhalb der untersuchten Grenzen und bis zu einem gewissen Grade auch die Anfangsbreite ohne Einfluß auf die Breitung sind. Die Breitung der vier Metalle folgt ungefähr der Siebelschen Formel:

$$b_2 - b = c \sqrt{\frac{(h_1 - h_2)^3 \cdot r}{h_1^2}} \quad \ldots \quad (14$$

wenn man bei vorgewalztem Material den versuchsmäßig gefundenen Faktor c für Kupfer zwischen 300 und 800° C = 1/2,77, für bearbeitetes Aluminium bei 450° C = 1/2,22, für Blei bei Raumtemperatur = 1/3, für Eisen bei 1150° C = 1/3,2 setzt. Aus dem von Oberhoffer gefundenen übereinstimmenden Verlauf der Breitung für roh gegossenes und vorgewalztes Material zwischen 300 und 800° C kann geschlossen werden, daß c auch für gegossenes Kupfer annähernd gleich 1/2,77 ist. Für gegossenes Aluminium wurde c aus einer Reihe von in der Praxis angestellten Versuchen zu annähernd gleich 1/3,5 ermittelt.

Lebenslauf

Ich bin am 21. Sept. 1900 als Sohn des Architekten Bernhard Anke zu Cossebaude bei Dresden geboren, besuchte in Kattowitz, O.-S., die Oberrealschule bis zur Reifeprüfung im Juni 1918 und trat anschließend in den Heeresdienst. Nach der Entlassung im Dezember 1918 arbeitete ich auf verschiedenen oberschlesischen Hüttenwerken praktisch und begann im Oktober 1919 das Studium der Hüttenkunde an der Techn. Hochschule Breslau, an der ich im Juli 1924 das Diplomexamen ablegte. Vom 1. Oktober 1924 bis 15. Januar 1927 war ich Assistent für Walzwerkskunde am Lehrstuhl für Hüttenmaschinen- und Walzwerkskunde der Techn. Hochschule Breslau. Seit dem 15. Januar 1927 bin ich Beamter der Vereinigten Stahlwerke Hütte Ruhrort-Meiderich, Abtlg. Ofenbau.

VDI-Verlag G. m. b. H., Berlin NW 7.
Druck von H. S. Hermann & Co., Berlin SW 19, Beuthstr. 8.